

ANÁLISIS DE LOS EXTREMOS PLUVIOMÉTRICOS EN LAS ISLAS CANARIAS Y SU RELACIÓN CON EL ÍNDICE NAO *ANALYSIS OF EXTREME PRECIPITATION IN THE CANARY ISLANDS AND THEIR RELATIONSHIP TO THE NAO INDEX*

Rosmén TARIFE MÉNDEZ¹, Sara HERNÁNDEZ BARRERA¹, Sonia Raquel GÁMIZ-FORTIS¹,
Yolanda CASTRO-DÍEZ¹, María Jesús ESTEBAN-PARRA¹

¹*Departamento de Física Aplicada. Universidad de Granada.*

rosmen.geo@gmail.com, sarahdezbarraera@gmail.com, srgamiz@ugr.es, ycastro@ugr.es,
esteban@ugr.es

RESUMEN

En este trabajo se han estudiado las tendencias de los eventos extremos de precipitación en invierno, primavera y otoño para el periodo 1970-2010, en las Islas Canarias. Aplicando el estadístico de Mann-Kendall se ha analizado la existencia de tendencias en los índices de extremos. Las tendencias encontradas para los índices *pxcdd* y *pxc wd* en la zona occidental junto con las encontradas en los índices de intensidad (*px3d*, *px5d* y *pint*), teniendo en cuenta que las precipitaciones medias muestran, en general, un descenso en la mayor parte de las islas, permiten concluir que existe una tendencia hacia una concentración de la precipitación en menos días, dando lugar a la existencia de episodios más intensos. Asimismo, el comportamiento de los índices analizados (excepto para *pxcdd*) es muy similar para el invierno y el otoño, siendo diferente al de la primavera. Por otro lado, se ha abordado la posible influencia de la Oscilación del Atlántico Norte (NAO, *North Atlantic Oscillation*) en los episodios en los que se registran precipitaciones intensas en las Islas Canarias. Los resultados muestran que en la mitad occidental, la relación entre estos días lluviosos y la NAO negativa es evidente, mientras que para en la mitad oriental, hay una mayor frecuencia de eventos de la NAO positiva en los días con precipitaciones intensas. En cuanto a la relación existente entre los días lluviosos que superan el percentil 95 y la NAO extrema positiva ($NAO \geq 1$) y extrema negativa ($NAO \leq -1$), se pueden observar pocas diferencias entre la mitad occidental y oriental, aunque la mayor parte de ellos se da para valores neutros del índice NAO.

Palabras clave: Islas Canarias; precipitación extrema; factores locales; Oscilación del Atlántico Norte; tendencias de la precipitación.

ABSTRACT

This work studies the trends of extreme precipitation events in winter, spring and autumn for the period 1970-2010 in the Canary Islands. The existence of trends in extremes indices has been analysed applying the *Mann-kendall* statistic. Taking into account that mean precipitation generally shows a decrease in most of the islands, the study of trends found in the *pxcdd* and *pxc wd* indices in the west of the region, along with those found in the intensity indices (*px3d*, *px5d* and *pint*), shows a tendency towards a concentration of precipitation events in less days, resulting in the existence of more severe episodes. Furthermore, the behaviour of the analyzed indices (except for *pxcdd*) is very similar during

winter and autumn but it differs in spring. On the other hand, we have addressed the possible influence of the North Atlantic Oscillation (NAO) in heavy rainfall episodes recorded in the Canary Islands. Results show that in the western half of the region, the relationship between days with heavy precipitation and negative NAO is clear, while for the eastern, there is a higher frequency of these events with positive NAO. For the relationship between rainy days exceeding the 95th percentile and extreme positive NAO ($NAO \geq +1$) and extreme negative NAO ($NAO \leq -1$), we can see few differences between eastern and western half of the Islands. However, most of these very rainy days are present for neutral NAO situations.

Key words: Canary Islands; extreme rainfall; local factors; North Atlantic Oscillation; precipitation trends.

1. INTRODUCCIÓN

El cambio climático es uno de los principales desafíos a los que se enfrenta la humanidad en el siglo XXI. Uno de los impactos de mayor alcance del calentamiento global afecta al ciclo hidrológico (Trenberth, 1999, 2007; AR4 IPCC, 2007;). La preocupación de si una intensificación del ciclo hidrológico podría aumentar la frecuencia e intensidad de determinados fenómenos atmosféricos y climáticos extremos ha sido abordada específicamente en los últimos años (Frich *et al.*, 2002; Alexander *et al.*, 2006; Brown, 2010). Este aumento tendría consecuencias significativas en diferentes sectores claves de nuestra sociedad, esto es, en la agricultura, silvicultura, ecosistemas, aprovechamiento de los recursos hídricos, salud humana, así como, en la industria, la población y todo el entramado de infraestructuras asociadas a los núcleos urbanos. El impacto de estos cambios, en la economía de Canarias (Dorta, 1990, 2007), es evidente si se tiene en cuenta que la mayor parte de la actividad económica se basa en la agricultura y en el turismo.

Debido a la importancia de los estudios regionales de los extremos climáticos para evaluar los efectos potenciales del cambio climático, y teniendo en cuenta la importancia que juegan los factores locales en los cambios en las precipitaciones (García-Herrera *et al.*, 2003; Haylock and Goodess, 2004), el presente estudio evaluará la variabilidad de las precipitaciones extremas en las Islas Canarias. Por otro lado, diversos estudios establecen un influjo de la NAO en el clima de Canarias (García-Herrera *et al.*, 2001), al menos para la estación de invierno, que es la época del año en la que la NAO está más desarrollada. Más aún, además de la bien establecida relación entre la NAO y la precipitación en el sur de Europa, estudios como el de Knippertz *et al.* (2003) muestran una clara influencia de la NAO en la precipitación de latitudes más bajas, como es el caso de Marruecos, en el que incluso la región al sureste del Atlas presenta correlaciones significativas de la precipitación con la NAO en invierno. Además, de existir una relación con la NAO, ésta no puede considerarse lineal. Por este motivo, además de plantear el estudio de estas correlaciones incluyendo todos los valores de precipitación, se han analizado separadamente las situaciones correspondientes a precipitaciones extremas.

2. OBJETIVOS

En este trabajo se ha analizado, en primer lugar, las tendencias de los eventos extremos de precipitación en invierno (diciembre, enero y febrero), primavera (marzo, abril y mayo) y otoño (septiembre, octubre y noviembre), para el periodo 1970-2010. Para ello, se han utilizado algunos

de los índices de extremos recomendados por el proyecto europeo STARDEX (<http://www.cru.uew.ac.uk/projects/stardex/>). Estos indicadores se han aplicado a las series temporales de las estaciones de Canarias, suministrados por la AEMet, llevando a cabo un control previo de calidad con la finalidad de que las series fueran homogéneas y con el menor porcentaje de huecos posible.

En segundo lugar, por un lado, se ha abordado la posible influencia de la Oscilación del Atlántico Norte (NAO, *North Atlantic Oscillation*) en los episodios en los que se registran precipitaciones extremas en las Islas Canarias en el periodo 1970-2010. Para ello, se han analizado las correlaciones existentes entre los índices de extremos seleccionados y los valores de la NAO en base estacional. Por otro lado, con el fin de evaluar el posible influjo no lineal de la NAO en la precipitación intensa en Canarias, se ha analizado la frecuencia de ocurrencia de distintos tipos de eventos NAO en situaciones de precipitación intensa, caracterizados como aquellos días en los que se registra una precipitación por encima del percentil 95 en las once estaciones seleccionadas de todo el archipiélago.

3. DATOS Y METODOLOGÍA

Los datos que se han utilizado en el desarrollo de este trabajo son datos observacionales que corresponden a las estaciones de Canarias y que han sido suministrados por la AEMet (Agencia Estatal de Meteorología). La variable observacional que se ha usado es la precipitación diaria para el análisis de eventos extremos. Se ha llevado a cabo un control inicial de calidad de todas las series meteorológicas de precipitación diaria, correspondientes a 222 estaciones, que consistió en rechazar todas aquellas series cuya longitud de los registros de datos fuera inferior a 40 años (1970-2010), desestimar las series con más de un 15% de huecos en el periodo de estudio (éste se concentra, en gran parte, durante la estación de verano que no ha sido analizada) y comprobar la existencia o no de valores anómalos, tales como valores negativos de precipitación diaria. En este último caso, estos registros se trataron como huecos. Después de aplicar en varias ocasiones estas condiciones, se han seleccionado 46 estaciones repartidas en toda la región de manera heterogénea (Fig. 1).

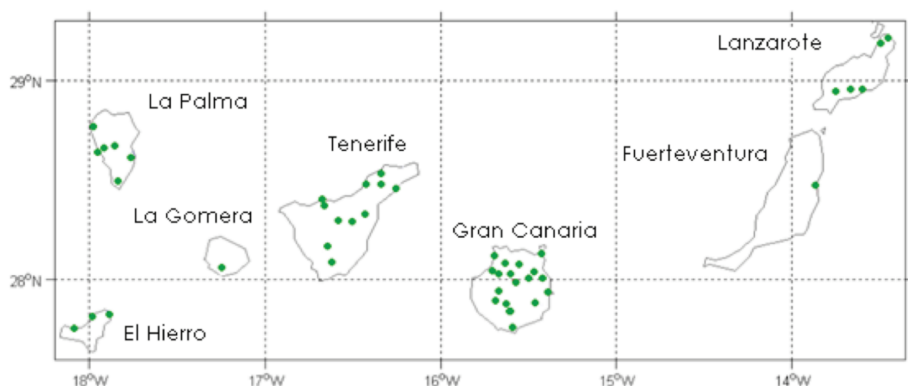


FIG. 1: Distribución de las 46 estaciones meteorológicas seleccionadas para el análisis de los eventos extremos de precipitación en Canarias.

Para el cálculo de los índices de los extremos de precipitación, se ha hecho uso del software de diagnóstico desarrollado y recomendado en el seno del proyecto STARDEX (*Statistical and*

Regional Dynamical Downscaling of Extremes for European Regions), disponible en <http://www.cru.uew.ac.uk/projects/stardex/>.

Para la selección final de los índices, se ha tenido en cuenta que éstos puedan representar distintos tipos de eventos extremos, así como, la imposibilidad de calcular índices basados en percentiles en base estacional. Así pues, los índices elegidos permiten analizar:

- Las inundaciones, con los índices **px3d** y **px5d**, esto es, la cantidad máxima de lluvia caída en 3 y 5 días consecutivos.
- La intensidad diaria simple, **pint**, que determina la concentración de la precipitación en el tiempo.
- Las sequías, con el índice **pxcdd**, el número máximo de días secos consecutivos (precipitación menor a 1 mm al día).
- El número máximo de días consecutivos húmedos, **pxcwd**.

La existencia de tendencias en estos índices se ha comprobado mediante el análisis de la pendiente de la recta de ajuste de las series seleccionadas a través del método mínimos cuadrados. Su significación ha sido estudiada mediante la aplicación del test de Mann-Kendall. Por otro lado, con el fin de cuantificar la existencia de cambios no lineales con el tiempo, se han calculado las diferencias en los promedios de los índices en dos subperiodos establecidos (1970-1990 y 1991-2010), valorando su significación mediante el test de Student. Para abordar el segundo objetivo, esto es, la posible influencia del índice NAO sobre los episodios correspondientes a situaciones de inestabilidad acusada en el archipiélago, se ha hecho uso de los datos diarios y mensuales de la NAO. Por un lado, se han empleado los datos mensuales, para establecer las correlaciones entre los valores estacionales de los índices de extremos y los valores estacionales del índice NAO. Esto se ha llevado a cabo para once estaciones seleccionadas (Fig. 2) en el periodo establecido inicialmente. Por otro lado, los datos diarios han sido empleados al analizar los episodios que están relacionados con los días muy lluviosos, es decir, con registros superiores al percentil 95 y los máximos pluviométricos del periodo analizado.

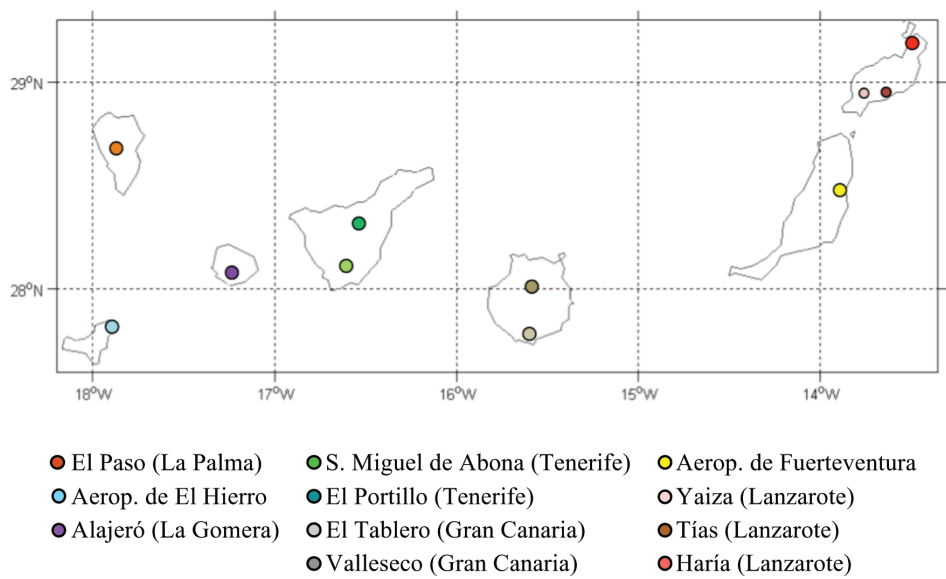


FIG. 2: Localización de las once estaciones elegidas y analizadas pormenorizadamente.

4. RESULTADOS

A continuación, se establece de manera sintética el comportamiento de cada índice para las tres estaciones del año analizadas en el periodo de estudio (1970-2010).

– **Número máximo de días secos consecutivos (pxcdd):** A nivel regional, pese a que tanto el invierno (Fig. 3) como la primavera (no mostrada) presentan una tendencia al incremento, el comportamiento espacial de este índice diverge de manera importante. Así en invierno, dicho ascenso se produce en la mitad occidental y Lanzarote, mientras que en primavera, el aumento tiene lugar en la mitad oriental y Tenerife. En otoño (no mostrada), el comportamiento es relativamente homogéneo en el conjunto del archipiélago y presenta una tendencia al decrecimiento, mostrando una mayor intensidad en la mitad occidental y Lanzarote.

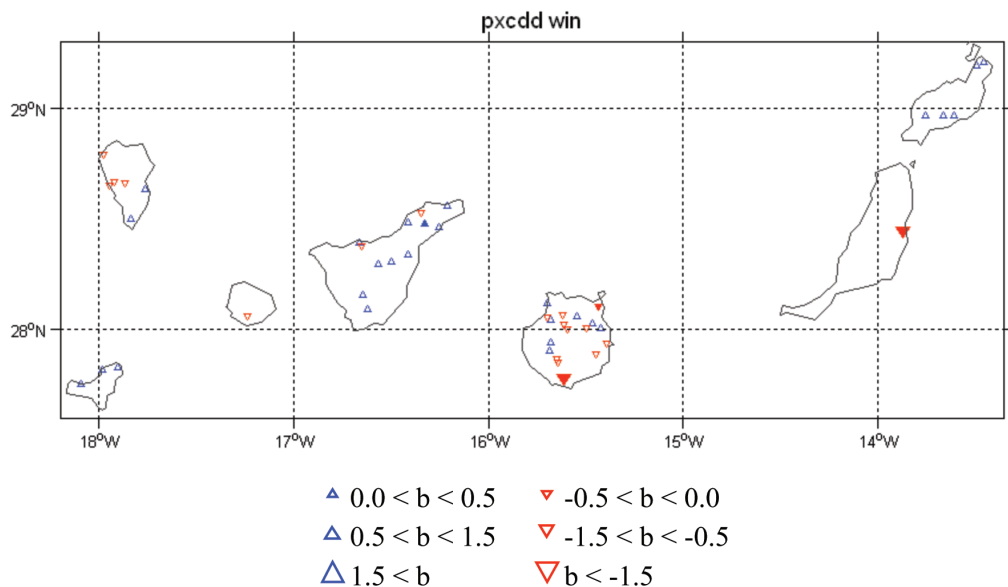


FIG. 3: Valores de las pendientes (días/año) obtenidas por mínimos cuadrados para las series del número máximo de días consecutivos con una precipitación inferior a 1 mm (pxcdd) en invierno. Los valores positivos se muestran en azul y los negativos en rojo. Los triángulos sólidos indican las estaciones donde el test de Mann-Kendall es significativo al 90%.

– **Número máximo de días húmedos consecutivos (pxcwd):** En invierno (Fig. 4) y otoño (no mostrada), no se observa una tendencia común a escala regional. La mitad occidental muestra un descenso de este índice para ambas estaciones, mientras que, para la mitad oriental se incrementa (con excepción de Lanzarote en invierno que experimenta un claro descenso). La primavera (no mostrada) presenta un comportamiento diferente. Se constata un leve descenso a nivel regional, siendo este descenso más significativo en la provincia oriental, es decir, lo contrario de lo observado en invierno y otoño.

– **Cantidad máxima de lluvia caída en 3 (px3d) y 5 (px5d) días consecutivos:** Tanto para el invierno (Fig. 5) como el otoño (no mostrada), ambos índices a nivel regional, presentan tendencias al aumento, algo mayor en invierno. Precisamente en otoño, este incremento es homogéneo para todas las islas, mientras que en invierno, este ascenso tiene lugar sobre todo en la

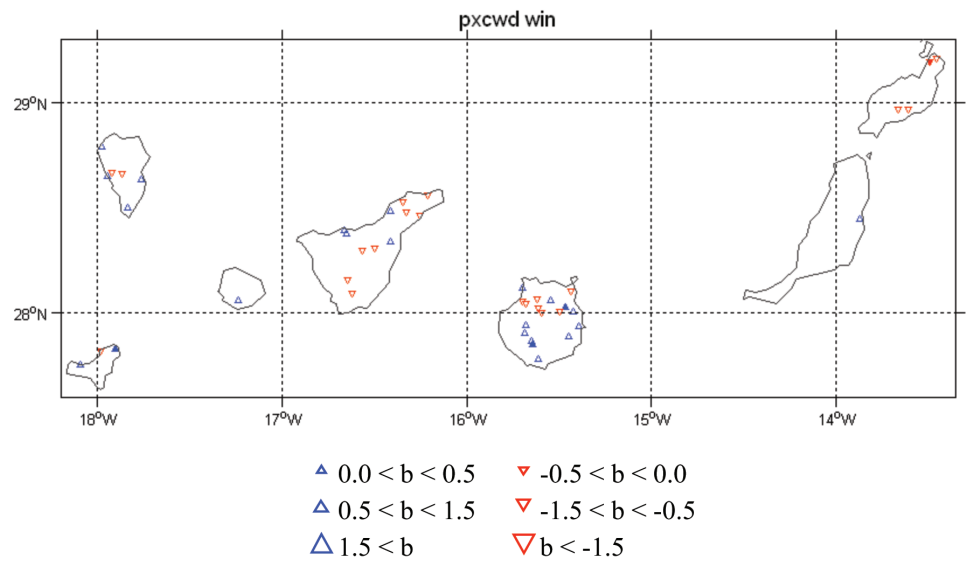


FIG. 4: Valores de las pendientes (días/año) obtenidas por mínimos cuadrados para las series del número máximo de días consecutivos con una precipitación superior a 1 mm (pxcwd) en invierno. Los valores positivos se muestran en azul y los negativos en rojo. Los triángulos sólidos indican las estaciones donde el test de Mann-Kendall es significativo al 90%.

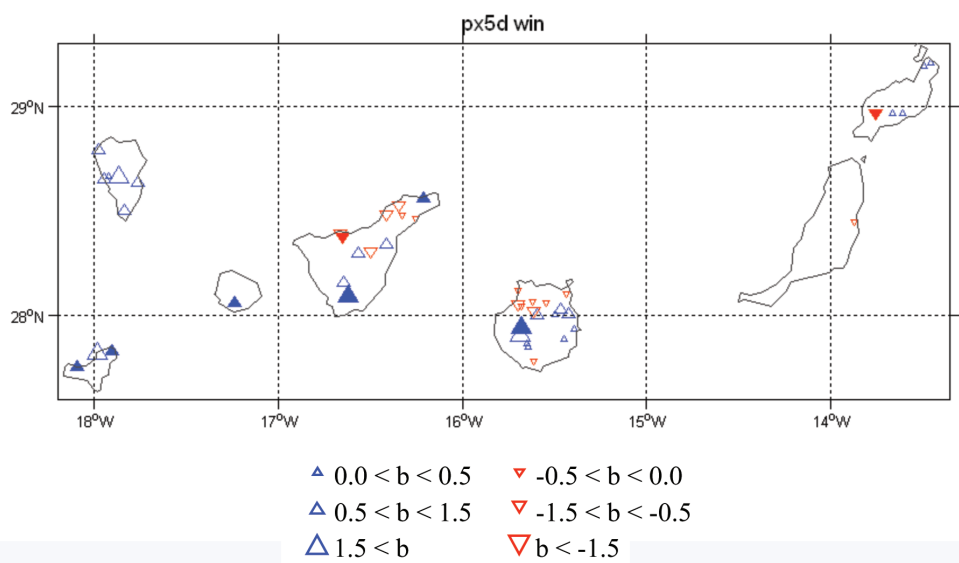


FIG. 5: Valores de las pendientes (mm/año) obtenidas por mínimos cuadrados para las series de la cantidad máxima de lluvia caída en cinco días consecutivos (px5d) en invierno. Los valores positivos se muestran en azul y los negativos en rojo. Los triángulos sólidos indican las estaciones donde el test de Mann-Kendall es significativo al 90%.

mitad occidental, en Lanzarote y en el centro sur y este de Gran Canaria. La primavera (no mostrada) se comporta de manera opuesta. Así, se produce un descenso de los índices en el conjunto del

archipiélago, a excepción de la isla de El Hierro y la mitad occidental de La Palma donde se observa una tendencia al incremento.

– **Intensidad de precipitación diaria simple (pint):** Este índice presenta en Canarias una tendencia positiva a escala regional para el invierno (Fig. 6) excepto para Gran Canaria y el norte de Tenerife. De manera similar, se comporta el otoño (no mostrada, aunque sin tendencia definida para todas las islas) pero sólo en la provincia occidental se observa un ligero incremento del índice, mientras que en la provincia oriental, experimenta un leve descenso. En primavera (no mostrada) presenta un claro descenso en el conjunto del archipiélago, siendo más acusado en la provincia oriental. Por otra parte, el extremo noroccidental de La Palma presenta un significativo aumento.

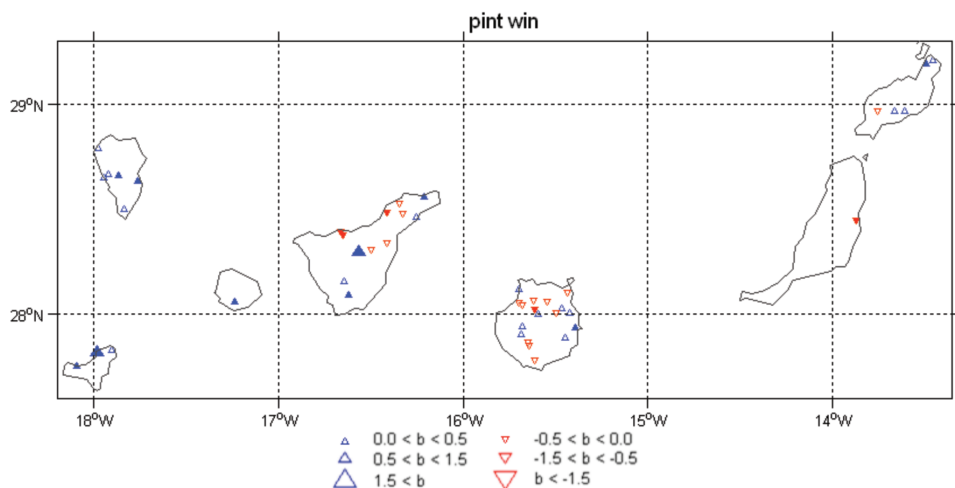


FIG. 6: Valores de las pendientes (mm/día/año) obtenidas por mínimos cuadrados para las series de la intensidad de precipitación diaria simple (pint) en invierno. Los valores positivos se muestran en azul y los negativos en rojo. Los triángulos sólidos indican las estaciones donde el test de Mann-Kendall es significativo al 90%.

Para las once estaciones seleccionadas (Fig. 2), se han analizado las correlaciones existentes entre los cinco índices de precipitación elegidos para las tres estaciones del año y el índice NAO, con el fin de investigar la existencia de alguna relación directa entre ellos. En general, no se muestran correlaciones significativas. Sólo el invierno se configura como la estación donde algunos de los coeficientes de correlación son significativos.

Con el objeto de caracterizar la posible influencia no lineal de la NAO en las situaciones correspondiente a días muy lluviosos, se ha estudiado la relación existente entre días con precipitación por encima del percentil 95 de la serie completa y los valores del índice NAO. El estudio se ha realizado en base diaria para todo el periodo de referencia, 1970-2010. Los resultados de este estudio se muestran en la Figura 7, en términos del porcentaje de episodios de precipitación correspondientes a valores positivos y negativos del índice NAO, separando entre la región occidental y la oriental de las Islas Canarias. Puede observarse que en la mitad occidental, la relación entre estos días muy lluviosos y la NAO negativa es evidente, mientras que en la mitad oriental, hay una ligera mayor frecuencia de eventos de la NAO positiva en los días con precipitaciones intensas.

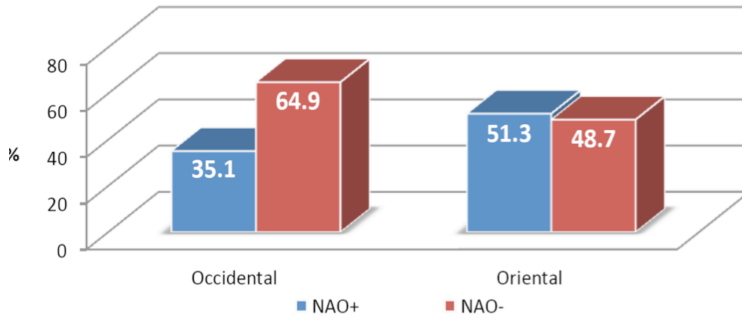


FIG. 7: Porcentaje de situaciones con valores positivos y negativos del índice NAO, correspondientes a episodios de precipitación intensa en las once estaciones seleccionadas durante el periodo 1970-2010, separando entre la región occidental y la oriental de las Islas Canarias.

En cuanto a la relación existente entre los días lluviosos que superan el percentil 95 y la NAO extrema positiva ($NAO \geq 1$) y extrema negativa ($NAO \leq -1$), se pueden observar pocas diferencias entre la mitad occidental y oriental. Tanto en las islas occidentales como en las orientales, el porcentaje de situaciones extremas negativas de la NAO asociadas a eventos de precipitación extrema es parecido (algo mayor en la mitad occidental), aunque la mayor parte de ellos se da para valores neutros del índice NAO (Fig. 8).

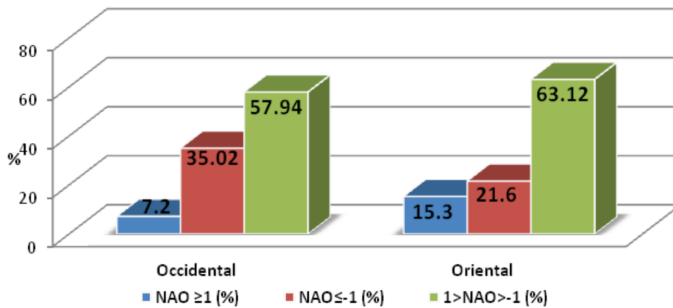


FIG. 8: Porcentaje de situaciones con valores extremos y moderados del índice NAO, correspondientes a episodios de precipitación intensa en las once estaciones seleccionadas durante el periodo 1970-2010, separando entre la región occidental y la oriental de las Islas Canarias.

5. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En general, el comportamiento de los índices analizados (excepto para $pxcdd$) es muy similar para el invierno y el otoño, siendo diferente al de la primavera. Esto se podría explicar mediante la marcada estacionalidad que presenta el régimen pluviométrico en Canarias, donde se registran los máximos de precipitación durante el otoño y el invierno, sobre todo, de noviembre a marzo (García-Herrera *et al.*, 2001). Además, las tendencias encontradas para los índices $pxcdd$ y $pxc wd$ en la zona occidental junto con las encontradas en los índices de intensidad ($px3d$, $px5d$ y $pint$), teniendo en cuenta que en general las precipitaciones medias muestran un descenso en la mayor parte de las islas (Hernández-Barrera, 2012), permiten concluir la existencia de una tendencia hacia la concentración de la precipitación en menos días, dando lugar a la existencia de episodios más intensos.

El hecho de que la relación entre la NAO y las precipitaciones intensas sea limitada, indica que la NAO no es el único factor claramente determinante para establecer las situaciones asociadas a precipitaciones intensas. De hecho, la NAO influye en la precipitación en Canarias a través del efecto de las depresiones atlánticas (García-Herrera *et al.*, 2001). Sin embargo, existen otros mecanismos que desencadenan eventos de precipitaciones intensas, como es el caso de un embolsamiento de aire frío en altura. Además es necesario contar con los factores locales de cada región, que, como señalan diversos autores (García-Herrera *et al.*, 2003, Hidalgo-Muñoz *et al.*, 2011), juegan un papel fundamental en la ocurrencia de precipitaciones intensas, así como, en los cambios en las tendencias de los índices de precipitación, conduciendo a una significativa variabilidad estacional y espacial. En concordancia con los resultados del presente trabajo, Hidalgo *et al.* (2011), en un estudio llevado a cabo en Andalucía, encuentran que la mayor parte de los patrones sinópticos asociados a los sucesos de precipitaciones intensas, están relacionados con valores negativos altos del índice WeMO, pero sólo algunos de ellos y sólo para la parte occidental y central de Andalucía, presentan valores significativos negativos del índice NAO.

Dado el interés de las conclusiones que pueden extraerse de estudios como el presentado en esta memoria, en diferentes campos y, en particular, en la gestión de los recursos hídricos en Canarias, en el futuro, se pretende ampliar el trabajo incluyendo el análisis de la influencia de otros factores en el comportamiento de las tendencias de los índices, así como un estudio pormenorizado de las situaciones sinópticas asociadas a los eventos extremos de precipitación y de las tendencias de las mismas.

Agradecimientos

Este trabajo se ha realizado en el marco del proyecto CGL2010-21188/CLI, financiado por el Ministerio Español de Ciencia e Innovación y los Fondos FEDER de la Comunidad Europea.

BIBLIOGRAFÍA

- Alexander, L.V.; Zhang, X.; Peterson, T.C.; Caesar, J.; Gleason, B.; Tank, A.M.G.K.; Haylock, M.; Collins, D.; Trewin, B.; Rahimzadeh, F.; Tagipour, A.; Kumar, K.R.; Revadekar, J.; Griffiths, G.; Vincent, L.; Stephenson, D.B.; Burn, J.; Aguilar, E.; Brunet, M.; Taylor, M.; New, M.; Zhai, P.; Rusticucci, M. y Vazquez-Aguirre, J.L. (2006). "Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation". *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, 111, D05109, DOI: 10.1029/2005JD006290.
- Brown, P.J.; Bradley, R.S. y Keimig, F.T. (2010). "Changes in Extreme Climate Indices for the Northeastern United States, 1870-2005". *Journal of Climate*, 23, pp. 6555-6572.
- Dorta, P. (1990). "Estado de la atmósfera en las olas de calor estivales en Canarias". *Ería*, 23, pp. 205-211.
- Dorta, P. (2007). "Catálogo de riesgos climáticos en Canarias: Amenazas y vulnerabilidad". *Geographicalia*, 51, pp.133-160.
- Frich, P.; Alexander, L.V.; Della-Marta, P.; Gleason, B.; Haylock, M.; Tank, A.M.G.K. y Peterson, T. (2002). "Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century". *Climate Research*, 19(3), pp. 193-212.
- García-Herrera, R.; Gallego, P. y Hernández, E. (2001). "Influence Of The North Atlantic Oscillation On The Canary Islands Precipitation". *Journal of Climate*, 14, pp. 3889-3903.
- García-Herrera, R.; Gallego, D.; Hernández, E.; Gimeno, L.; Ribera, P. y Calvo, N. (2003). "Precipitation Trends In The Canary Islands". *International Journal of Climatology*, 23, pp. 235-241.
- Haylock, M.R. y Goodess, C.M. (2004). "Interannual variability of european extreme winter rainfall and links with mean large-scale circulation". *International Journal of Climatology*, 24(6), pp. 759-776.

- Hernández-Barrera, S. (2012). “Estudio de las sequías en las Islas Canarias mediante el análisis de índices multiescalares“. Trabajo fin de Máster, Máster en Geofísica y Meteorología, Universidad de Granada.
- Hidalgo-Muñoz, J.M.; Argüeso, D.; Gámiz-Fortis, S.R.; Esteban-Parra, M.J. y Castro-Díez, Y. (2011). “Trends of extreme precipitation and associated synoptic patterns over the southern Iberian Peninsula“. *Journal of Hydrology*, Doi: 10.1016/j.jhydrol.2011.08.049.
- IPCC (2007). *Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático* [Equipo de redacción principal: Pachauri, R.K. y Reisinger, A. (directores de las publicaciones)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 104 págs.
- Knippertz, P.; Fink, A.H.; Reiner, A. y Speth, P. (2003). “Three Late Summer/Early Autumn Cases of Tropical–Extratropical Interactions Causing Precipitation in Northwest Africa“. *Monthly Weather Review*, 131, pp. 116-135.
- Trenberth, K.E. (1999). “Conceptual framework for changes of extremes of the hydrological cycle with climate change“. *Climatic Change*, 42(1), pp. 327-339.
- Trenberth, K.E.; Jones, P.D.; Ambenje, P.; Bojariu, R.; Easterling, D.; Klein Tank, A.; Parker, D.; Rahimzadeh, F.; Renwick, J.A.; Rusticucci, M.B.S. y Zhai, P. (2007). Observations: Surface and Atmospheric Climate Change. En: Solomon, S. *et al.* (Eds.). *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.